



Propuesta de valores de indicadores para el DBHE 2018 (nZEB)

Mayo 2018



Título de la publicación

Propuesta de valores de indicadores para el DBHE 2018 (nZEB)

Contenido

Este documento ha sido elaborado con la colaboración del Grupo de Energética Edificatoria y Sostenibilidad de la Unidad de Calidad en la Construcción del Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja – IETcc-CSIC.

Está permitida la reproducción, parcial o total, del presente documento, siempre que esté destinado al ejercicio profesional de los técnicos del sector. Por el contrario, debe contar con aprobación por escrito cuando esté destinado a fines editoriales en cualquier soporte impreso o electrónico.



Índice

1	Introducción	4
2	Región de interés	4
3	Definición de valores límite de los indicadores	6
3.1	Selección de componentes principales	6
3.2	Consumo de energía primaria no renovable	8
3.3	Consumo total de energía primaria	14
3.4	Calidad de la envolvente (K)	20
3.5	Control solar ($q_{sol;jul}$)	24
4	Observaciones metodológicas	28
4.1	Construcción de variantes de la envolvente	28
4.2	Parámetro de control solar	28
4.3	Aportación de energía renovable para ACS	28
4.4	Valores de consumo en edificios residenciales de muy baja compactidad	28
4.5	Niveles de consumo en climas extrapeninsulares	29
5	Relación con los niveles de los indicadores existentes en el DB-HE2013	31
5.1	Consumo de energía primaria no renovable en uso residencial privado	31
5.2	Demanda energética	31
5.3	Transmitancia térmica	31
5.4	Uso de energía renovable	31
6	Valores de consumo de energía en edificios de uso no residencial	32
6.1	Proyecto ENTRANZE	32
6.2	Proyecto TOBEEM	33
6.3	Muestreo de certificaciones energéticas	34
7	Revisión de los valores de limitación de descompensaciones en edificios de uso residencial privado.	35
7.1	Zonas del mismo uso	35
7.2	Zonas de distinto uso	36
7.3	Conclusiones	36

1. Introducción

El artículo 9 de la *Directiva 2010/31/UE* del Parlamento Europeo y del Consejo Europeo, de 19 de mayo de 2010, relativa a la eficiencia energética de los edificios exige la definición de los *Edificios de consumo de energía casi nulo (nZEB)*. Esta definición del nZEB debe apoyarse en una metodología armonizada, desarrollada por el Comité Europeo de Normalización (CEN) e ISO en la norma *ISO-52000-1*, y otros documentos relacionados.

Este documento recoge los valores propuestos de los indicadores del *Documento Básico de Ahorro de Energía DB-HE 2018* que atiende a dicha exigencia, así como el criterio de definición de dichos valores límite.

2. Región de interés

Para obtener los valores límite, se simula térmicamente un conjunto de edificios realizando variaciones en los sistemas, soluciones constructivas y climas de emplazamiento, al que denominaremos *todos los casos*. Estas variantes se caracterizan térmicamente, calculando los parámetros térmicos y de coste del ciclo de vida siguiendo la metodología de la norma *ISO 52000-1*. De esos casos se selecciona un subconjunto, al que denominaremos **región de interés**, representativo de los niveles de eficiencia deseados, y que cumple las siguientes condiciones:

1. su envolvente térmica cumple los valores límite del DB-HE2013 (valores de referencia) cuando se trate de edificios existentes o de uso terciario, o los valores del apéndice E y el valor límite de demanda del DB-HE2013 cuando se trate de edificios nuevos de uso residencial;
2. su demanda conjunta o de calefacción y refrigeración, en el caso de edificios de uso residencial privado existentes o nuevos, respectivamente, es inferior al valor límite establecido en el DB-HE2013;
3. su consumo de energía primaria no renovable (EP_{nren}) es inferior a la del caso óptimo en coste;
4. su coste se encuentra en la mitad inferior de los casos que cumplen las condiciones anteriores.

La [Figura 1](#) muestra un ejemplo de selección de casos representativos (en un recuadro verde) para un edificio residencial, de nueva planta, situado en la zona climática A3 peninsular.

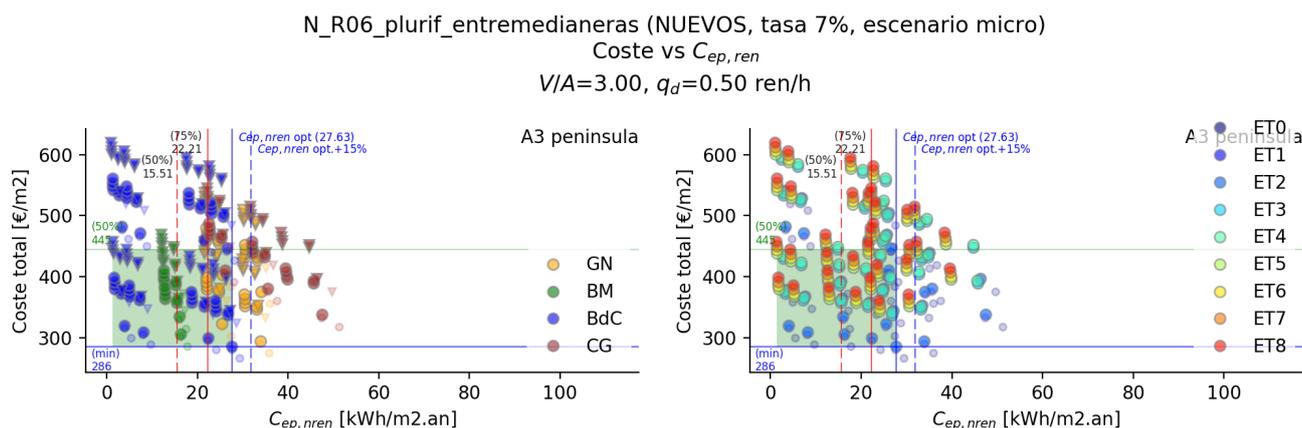


Figura 1: Ejemplo de selección de casos relevantes

NOTA 1: En uso terciario no se ha limitado la selección de candidatos a aquellos que cumplen la condición de calificación B en consumo de energía primaria no renovable, pero esta condición es trivial al mejorar los rendimientos de los equipos seleccionados en más de un 35% los rendimientos de los equipos de referencia. Tampoco se ha impuesto la limitación de ahorro de la demanda puesto que el valor de VEEI es un 30% de la de referencia y los valores de transmitancia térmica lineal de puentes térmicos son del orden de un 10% de los de referencia.

NOTA 2: En el caso de edificios existentes la condición de que la envolvente cumple los límites de 2013 es más estricta de lo necesario puesto que pueden existir intervenciones parciales de la envolvente debido a imposibilidad técnica, económica o legal. En el caso de los



sistemas de edificios de uso residencial existentes también se ha considerado, por el lado de la seguridad, que se dispone de producción para ACS con paneles solares térmicos, cuando esto no sería exigible en la mayor parte de los casos al mantenerse la demanda de ACS o por limitaciones urbanísticas o de protección. De este modo, los criterios de selección de la región de interés y el valor representativo se han flexibilizado respecto a los aplicados a edificios nuevos.



3. Definición de valores límite de los indicadores

3.1. Selección de componentes principales

La selección de los componentes principales que caracterizan los indicadores (K , $q_{sol;jul}$, EP_{nren} , EP_{tot}) se realiza mediante el análisis de los factores de correlación de Pearson (correlación lineal). Estos valores se muestran, para uso residencial y terciario, en la [Figura 2](#) y [Figura 3](#).

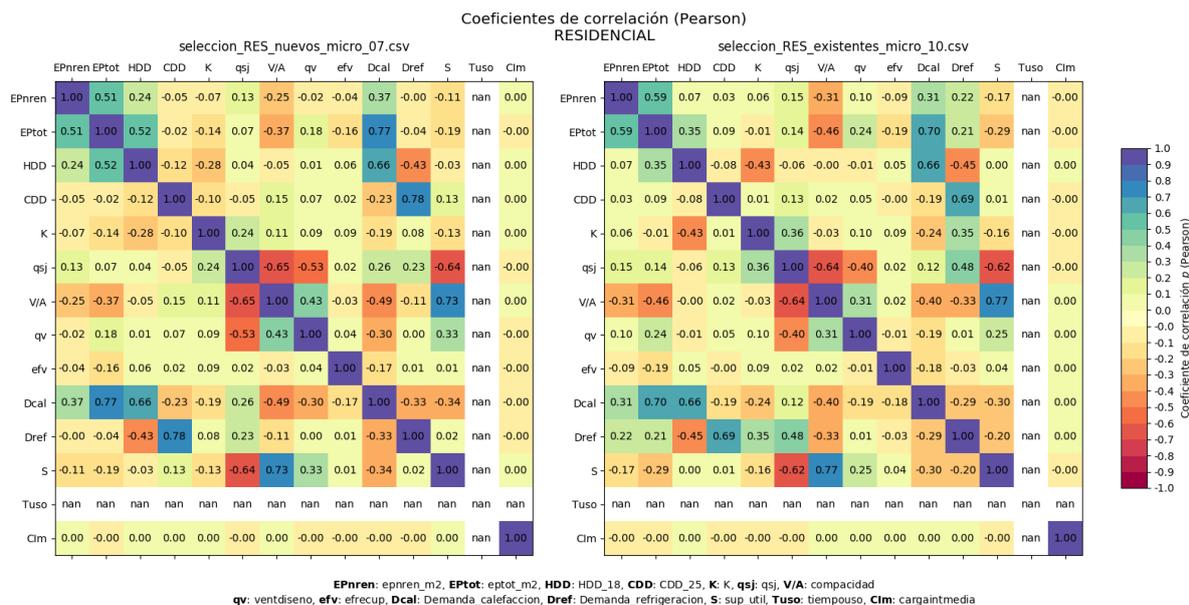


Figura 2: Coeficientes de correlación lineal para edificios de uso residencial

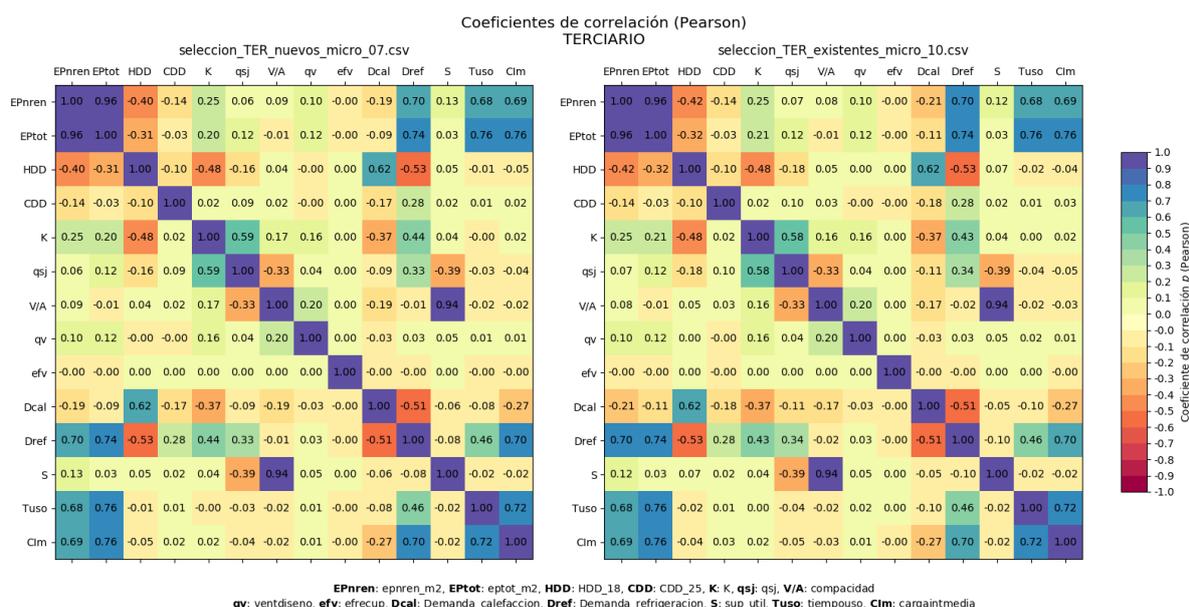


Figura 3: Coeficientes de correlación lineal para edificios de uso terciario



A continuación se muestra, para cada indicador y uso, el conjunto de componentes principales que influyen en mayor medida en la cuantificación del indicador (se observa que la zonificación climática es un factor permanente), cuando estos presenten niveles significativos:

■ **Uso residencial**

- EP_{tot} : HDD (Zona climática de invierno);
- EP_{nren} : HDD (Zona climática de invierno);
- K : HDD (Zona climática de invierno), V/A (compacidad);
- $q_{sol;jul}$: HDD (Zona climática de invierno) y V/A (compacidad).

■ **Uso terciario**

- EP_{tot} : HDD (Zona climática de invierno) y C_{FI} (nivel de carga interna);
- EP_{nren} : HDD (Zona climática de invierno) y C_{FI} (nivel de carga interna);
- K : HDD (Zona climática de invierno) y V/A (compacidad);
- $q_{sol;jul}$: V/A (compacidad), S (superficie), qv (ventilación de diseño).

En algún caso, como el del control solar, $q_{sol;jul}$, se observa una mayor correlación de la variable con la transmitancia térmica global K que con la seleccionada, la compacidad V/A , pero esto refleja el procedimiento de selección de las envolventes, que incrementaba el factor solar del vidrio con el nivel de aislamiento. La correlación con la superficie o el nivel de ventilación se debe a relaciones del mismo tipo (proporción de superficie de infiltraciones en relación a superficie útil o porcentaje de acristalamiento en relación a la superficie útil).

El efecto en el consumo de energía primaria que tiene el uso de factores de paso extrapeninsulares se aclara en el apartado 4.5.

En las siguientes secciones se analiza el efecto de los anteriores componentes.

3.2. Consumo de energía primaria no renovable

Uso residencial privado

La [Figura 4](#) representa los valores de consumo de energía primaria no renovable, $C_{ep,nren}$, para los casos seleccionados de edificios nuevos de uso residencial privado, en función de la zona climática y la compacidad del edificio^{1 2}. Se representa con un punto negro el percentil del 75 % de cada edificio base (misma geometría) y con una línea azul la regresión lineal de estos puntos teniendo en cuenta los grados-día de invierno (HDD_{18}). En línea discontinua azul se representan los límites del intervalo de confianza del 95 % del valor de regresión.

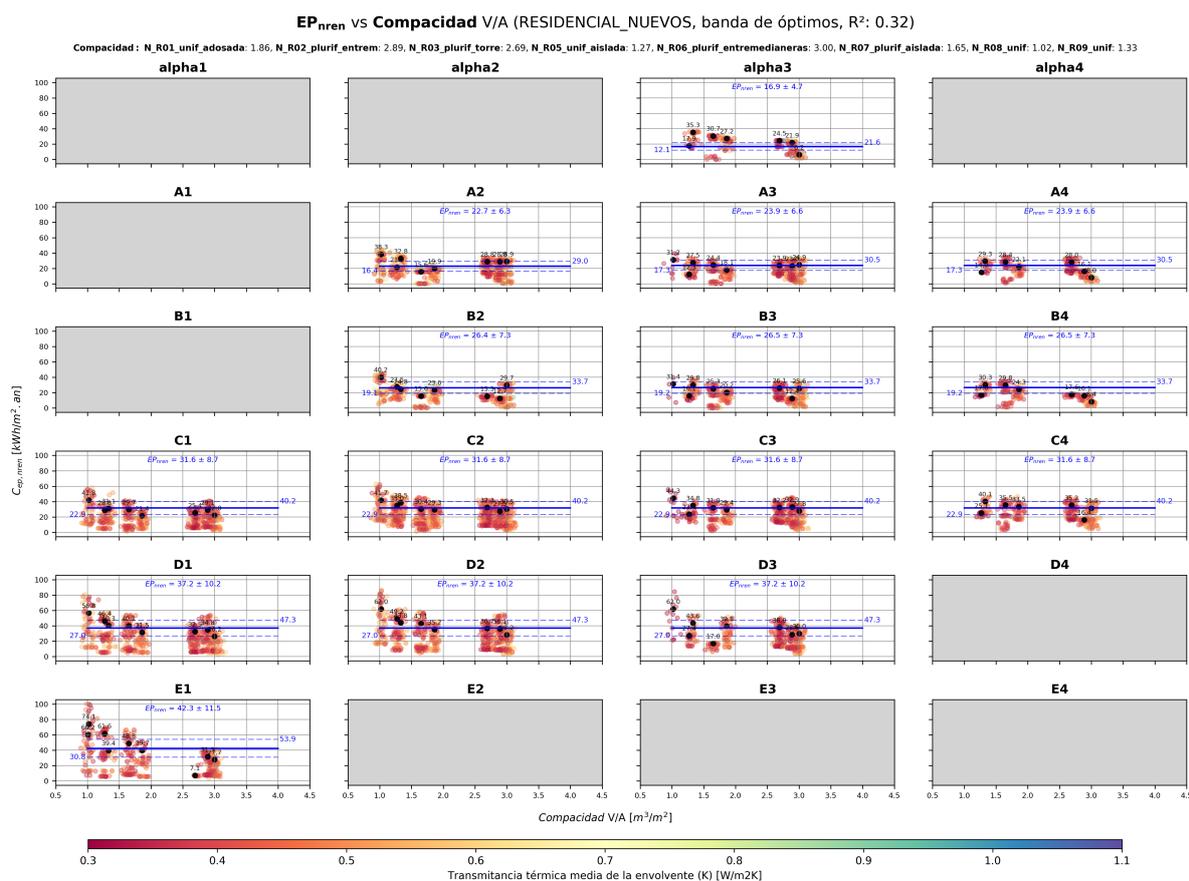


Figura 4: Energía primaria no renovable-Residencial-Nuevos

Del mismo modo, la [Figura 5](#) representa los valores de consumo de energía primaria no renovable, $C_{ep,nren}$, el percentil del 100 % y la recta de regresión, para los casos seleccionados de edificios existentes de uso residencial. En línea discontinua azul se representan los límites del intervalo de confianza del 95 % del valor de regresión.

¹ Los casos se han representado con perturbaciones aleatorias en el eje de compacidad para evidenciar las zonas de solape.

² Para ver cómo se ha considerado el efecto de la variabilidad del consumo para edificios residenciales de muy baja compacidad y de los factores de paso extrapeninsulares consúltense los apartados [4.4](#) y [4.5](#).

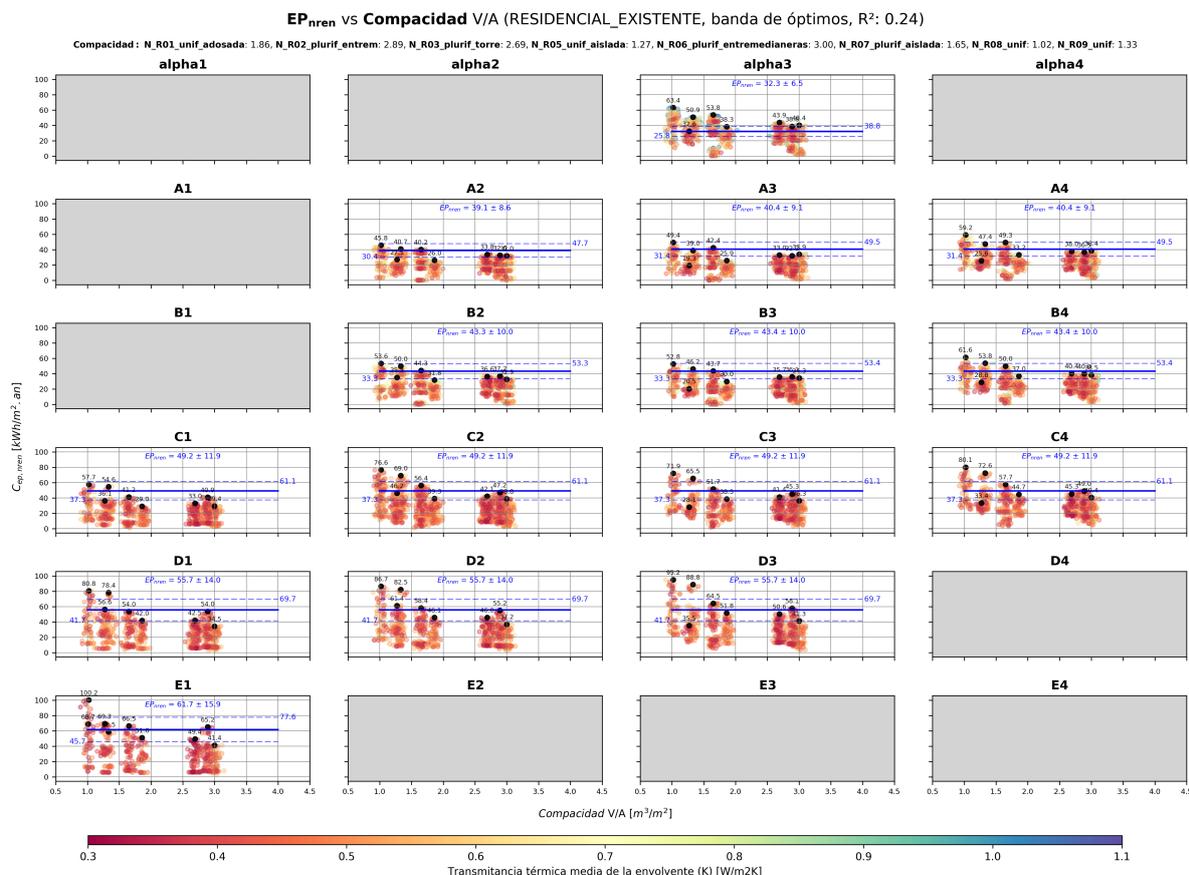


Figura 5: Energía primaria no renovable-Residencial-Existentes

La siguiente tabla muestra los valores de ajuste por zona climática sin diferenciar compacidades. Para edificios nuevos se ha utilizado la regresión del percentil del 75 % (línea azul continua) mientras que para los edificios existentes se ha utilizado la banda superior del intervalo de confianza del 95 % del valor de regresión (línea azul discontinua superior).

Valor límite del *consumo de energía primaria no renovable* $C_{ep,nren}$ [$kW \cdot h/m^2 \cdot an$] para uso residencial privado

	Zona climática de invierno					
	α	A	B	C	D	E
<i>Edificios nuevos y ampliaciones de edificios existentes</i>	16,9	23,9	26,5	31,6	37,2	42,3
<i>Cambios de uso a uso residencial privado y reformas importantes de edificios existentes en las que se renueven las instalaciones de generación térmica</i>	38,8	49,5	53,3	61,1	69,7	77,6

* En territorio extrapeninsular el valor límite se multiplica por un un factor de 1,25.

Finalmente, la [Tabla 1](#) redondea los valores anteriores al entero superior con algún pequeño ajuste. Se puede observar cómo los valores para edificios existentes resultan parecidos a los que establece el actual DB-HE 2013 para edificación nueva.



Tabla 1: Valor límite del consumo de energía primaria no renovable $C_{ep,nren}$ [$kW \cdot h/m^2 \cdot an$] para uso residencial privado

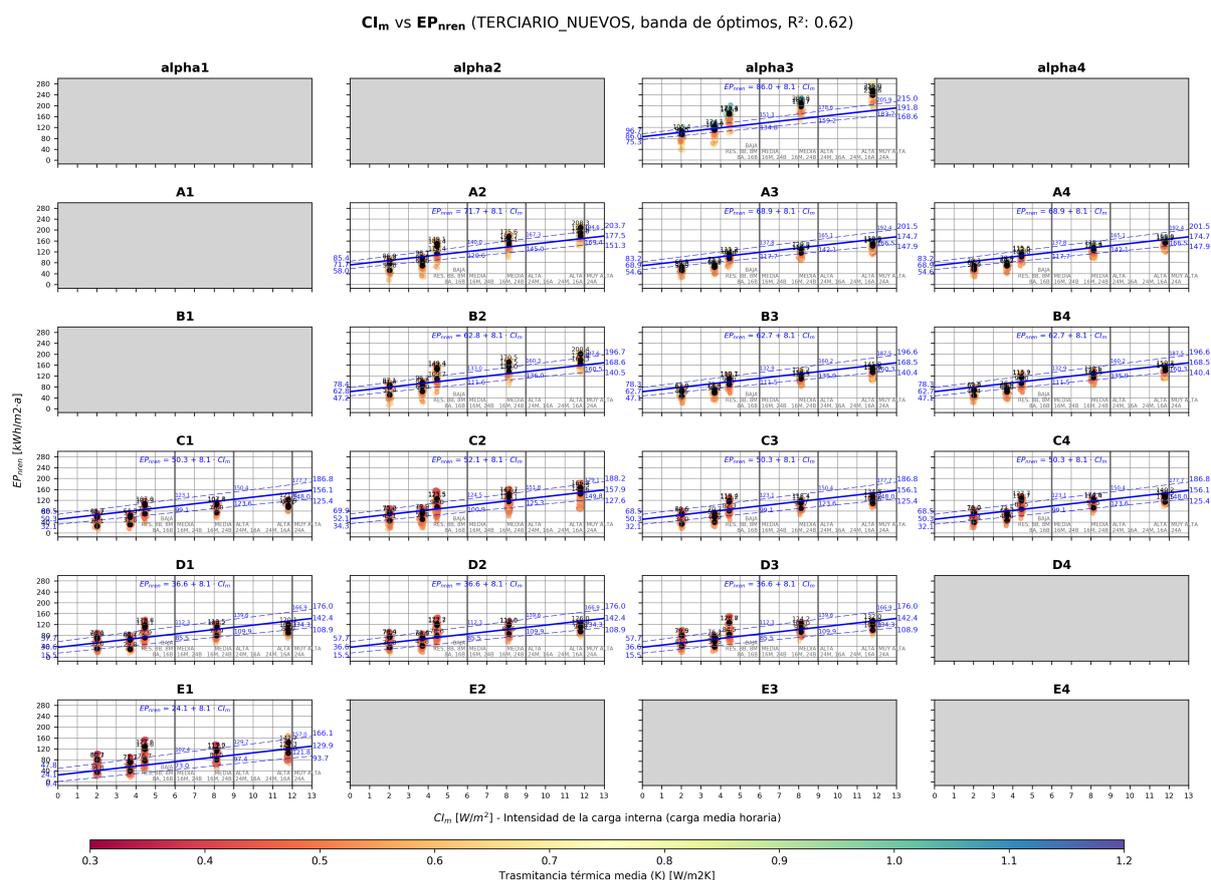
	Zona climática de invierno					
	α	A	B	C	D	E
<i>Edificios nuevos y ampliaciones de edificios existentes</i>	20	25	28	32	38	43
<i>Cambios de uso a uso residencial privado y reformas importantes de edificios existentes en las que se renueven las instalaciones de generación térmica</i>	40	50	55	65	70	80

* En territorio extrapeninsular el valor límite se multiplica por un un factor de 1,25.



Uso terciario

La **Figura 6** representa los valores de consumo de energía primaria no renovable, $C_{ep,nren}$, para los casos seleccionados de edificios nuevos de uso terciario, en función de la zona climática y el nivel de carga interna (C_{FI})³. Se representa con un punto negro el percentil del 75 % de cada edificio (misma geometría) y con una línea azul la regresión lineal de estos puntos teniendo en cuenta las componentes principales: los grados-día de invierno (HDD_{18}) y el nivel de carga interna (C_{FI}).



Del mismo modo, la **Figura 7** representa los valores de consumo de energía primaria no renovable, $C_{ep,nren}$, el percentil del 100 % y la recta de regresión, para los casos seleccionados de edificios existentes.

³Los casos se han representado con perturbaciones aleatorias en el eje de compacidad para evidenciar las zonas de solape.

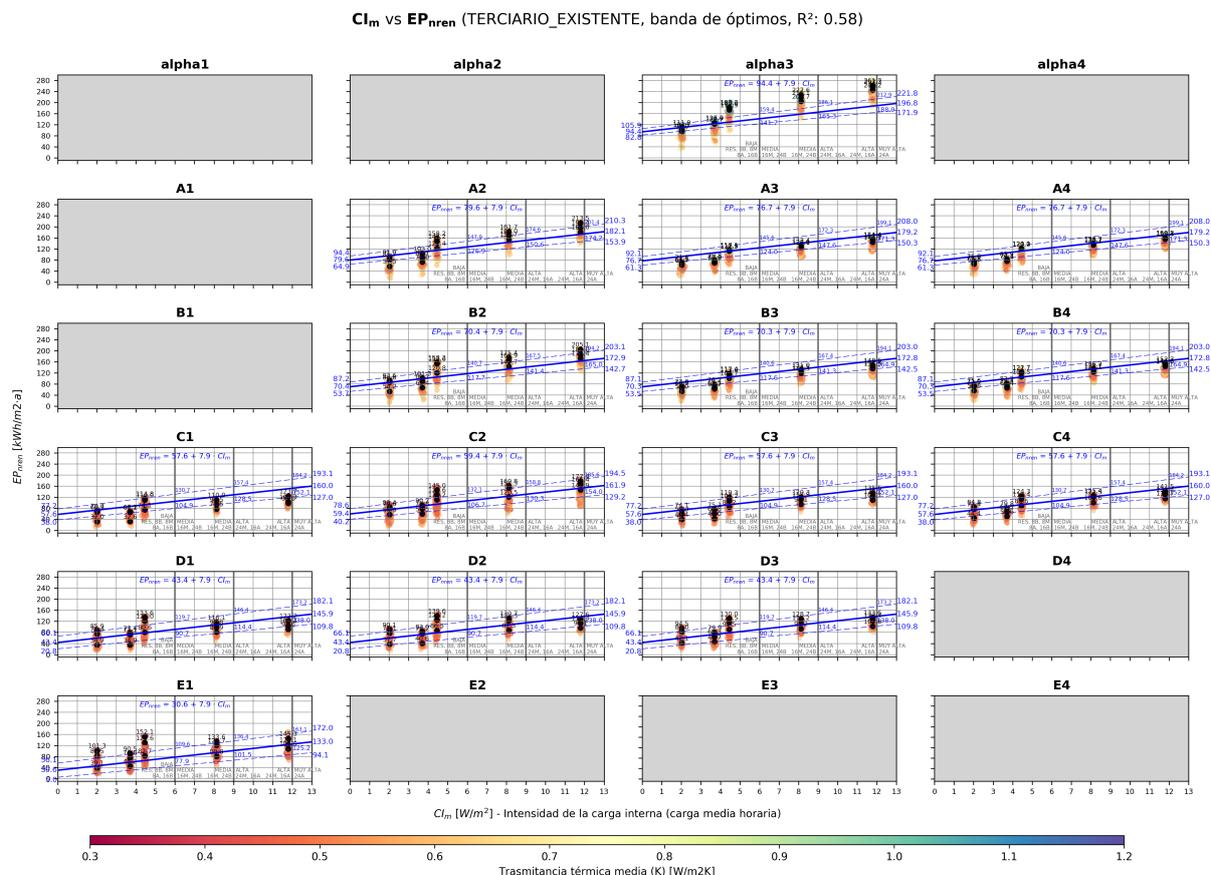


Figura 7: Energía primaria no renovable-Terciario-Existentes

La siguiente tabla muestra los valores de ajuste para los niveles de carga interna baja ($< 6W/m^2$), media ($6 - 9W/m^2$) y alta y muy alta ($> 9W/m^2$). Tanto para edificios nuevos como para existentes se han utilizado los valores para niveles de carga de $2W/m^2$, $6W/m^2$ y $9W/m^2$ para los niveles de carga B, M y A, respectivamente, de la línea central de la banda de confianza (línea azul continua):

Valor límite del consumo de energía primaria no renovable $C_{ep,nren}$ [$kW \cdot h/m^2 \cdot an$] para uso terciario

Nivel de carga interna (C_{FI}) [W/m^2]	Zona climática de invierno					
	α	A	B	C	D	E
<i>Edificios nuevos y ampliaciones de edificios existentes</i>						
Baja $C_{FI} < 6$	102,2	85,1	78,9	66,5	52,8	40,3
Media $6 \leq C_{FI} < 9$	134,8	117,7	111,5	99,1	85,5	73
Alta, muy alta $C_{FI} \geq 9$	159,2	142,1	135,9	123,6	109,9	97,4
<i>Cambios de uso a uso residencial privado y reformas importantes de edificios existentes en las que se renueven las instalaciones de generación térmica</i>						
Baja $C_{FI} < 6$	110,2	92,5	86,1	73,4	59,2	46,4
Media $6 \leq C_{FI} < 9$	141,7	124	117,6	104,9	90,7	77,9
Alta, muy alta $C_{FI} \geq 9$	165,3	147,6	141,3	128,5	114,4	101,5

* En territorio extrapeninsular el valor límite se multiplica por un factor de 1,40.



La propuesta de la [Tabla 2](#) redondea los valores al entero múltiplo de 5 más cercano e iguala los valores de edificios existentes a los de edificios nuevos, por su proximidad.

Tabla 2: Valor límite del *consumo de energía primaria no renovable* $C_{ep,nren}$ [$kW \cdot h/m^2 \cdot an$] para uso terciario

Nivel de carga interna (C_{FI}) [W/m^2]	Zona climática de invierno					
	α	A	B	C	D	E
<i>Baja</i> $C_{FI} < 6$	100	85	80	65	50	40
<i>Media</i> $6 \leq C_{FI} < 9$	135	120	110	100	85	75
<i>Alta, muy alta</i> $C_{FI} \geq 9$	160	145	135	125	110	100

* En territorio extrapeninsular el valor límite se multiplica por un factor de 1,40.

3.3. Consumo total de energía primaria

Uso residencial privado

La [Figura 8](#) representa los valores de consumo total de energía primaria, $C_{ep,tot}$, para los casos seleccionados de edificios nuevos de uso residencial privado, en función de la zona climática y la compacidad del edificio^{4 5}. Se representa con un punto negro el percentil del 100 % de cada edificio base (misma geometría) y con una línea azul la regresión lineal de estos puntos teniendo en cuenta los grados-día de invierno (HDD_{18}). En línea discontinua azul se representan los límites del intervalo de confianza del 95 % del valor de regresión.

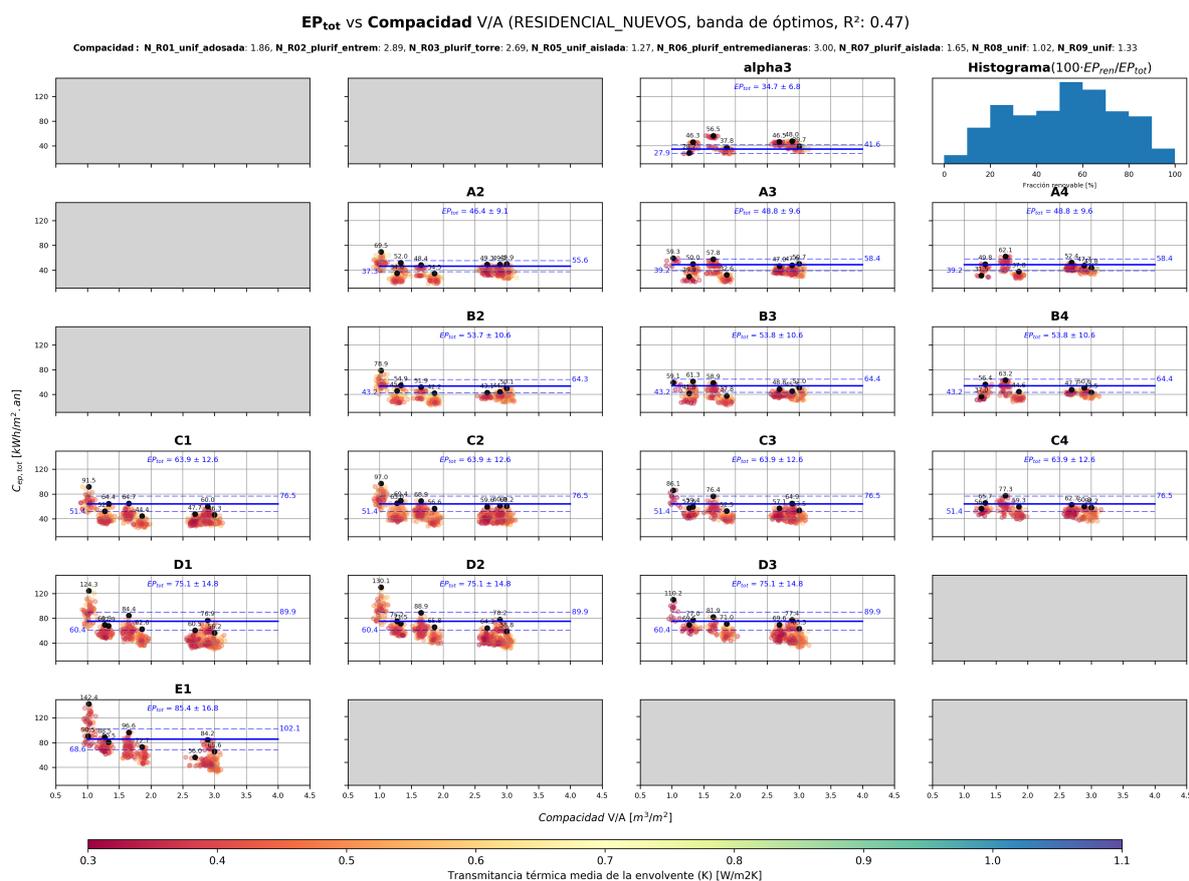


Figura 8: Energía primaria total-Residencial-Nuevos

Del mismo modo, la [Figura 9](#) representa los valores de consumo total de energía primaria, $C_{ep,tot}$, el percentil del 100 % y la recta de regresión, para los casos seleccionados de edificios existentes de uso residencial. En

⁴Los casos se han representado con perturbaciones aleatorias en el eje de compacidad para evidenciar las zonas de solape.

⁵Para ver cómo se ha considerado el efecto de la variabilidad del consumo para edificios residenciales de muy baja compacidad y de los factores de paso extrapeninsulares consúltense los apartados 4.4 y 4.5.



línea discontinua azul se representan los límites del intervalo de confianza del 95 % del valor de regresión.

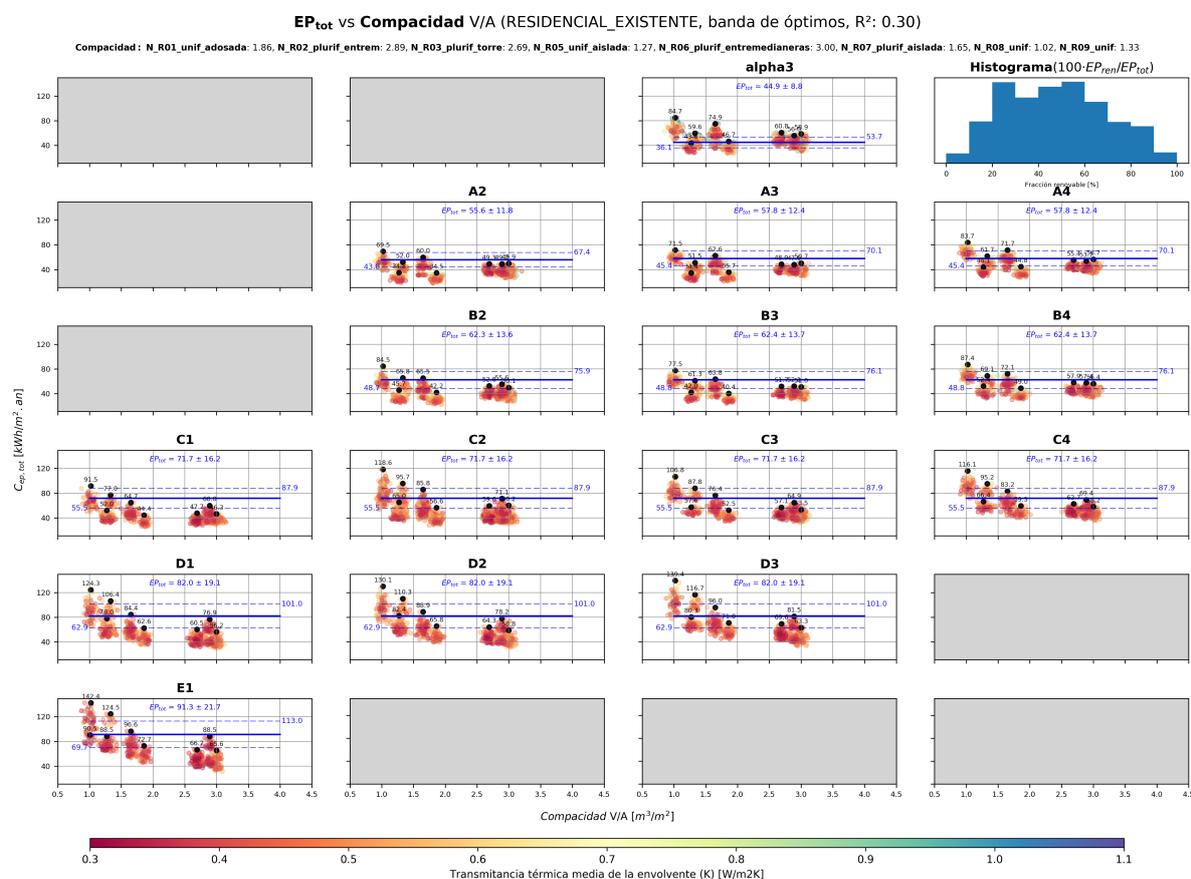


Figura 9: Energía primaria total-Residencial-Existentes

La siguiente tabla muestra los valores de ajuste para las diferentes zonas climáticas, tomando el valor central para edificios nuevos y ampliaciones (línea azul continua) y el valor superior del intervalo de confianza del 95 % para intervenciones en edificios existentes (línea azul discontinua superior).

Valor límite del *consumo total de energía primaria* $C_{ep,tot}$ [$kW \cdot h/m^2 \cdot año$] para uso residencial privado

	Zona climática de invierno					
	α	A	B	C	D	E
<i>Edificios nuevos y ampliaciones de edificios existentes</i>	34,7	48,8	53,8	63,9	75,1	85,4
<i>Cambios de uso a uso residencial privado y reformas importantes de edificios existentes en las que se renueven las instalaciones de generación térmica</i>	53,7	70,1	76,1	87,9	101	113

* En territorio extrapeninsular el valor límite se multiplica por un un factor de 1,15.

La [Tabla 3](#) redondea los valores anteriores con un pequeño ajuste que implique que para edificación nueva el valor sea el doble del consumo de energía primaria no renovable y para edificación existente redondea los valores al entero múltiplo de 5 superior.



Tabla 3: Valor límite del *consumo total de energía primaria* $C_{ep,tot}$ [$kW \cdot h/m^2 \cdot an$] para uso residencial privado

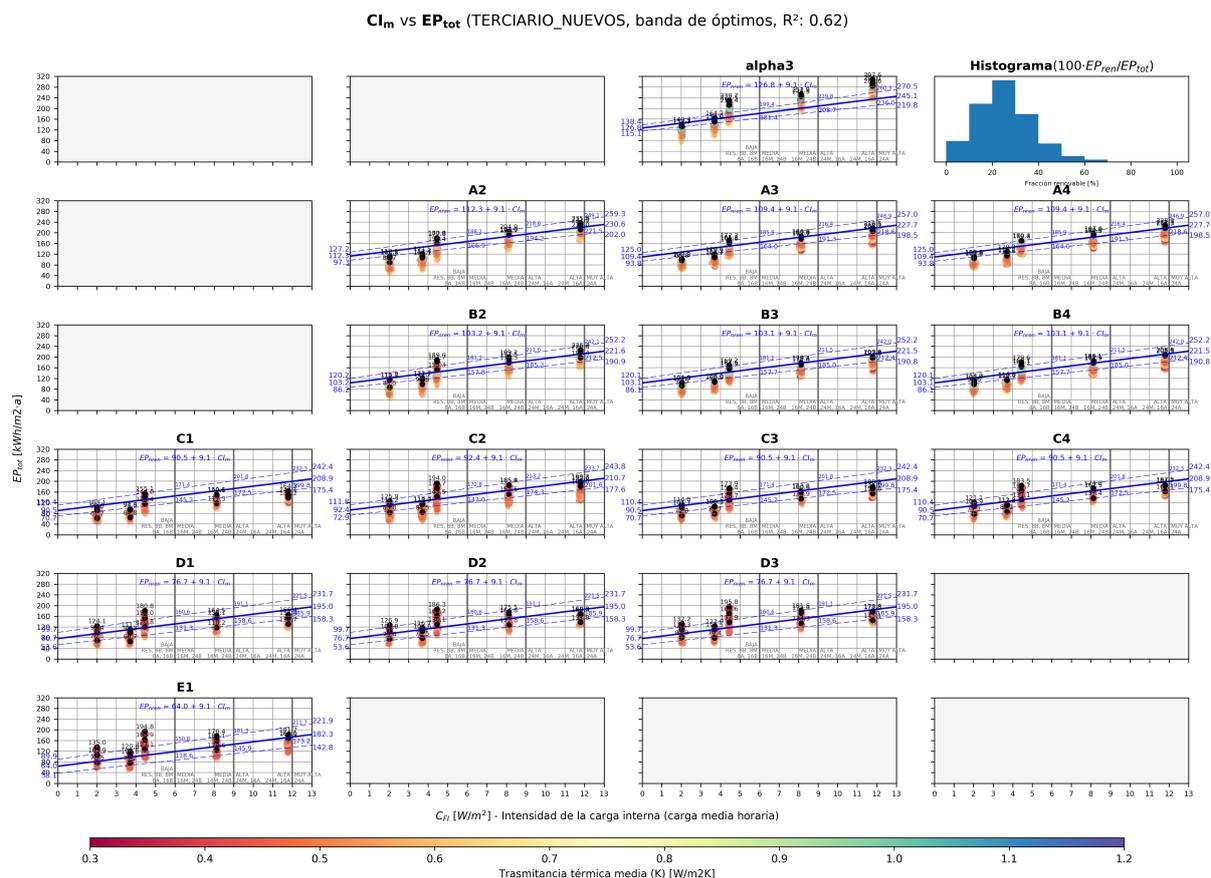
	Zona climática de invierno					
	α	A	B	C	D	E
<i>Edificios nuevos y ampliaciones de edificios existentes</i>	40	50	56	64	76	86
<i>Cambios de uso a uso residencial privado y reformas importantes de edificios existentes en las que se renueven las instalaciones de generación térmica</i>	55	75	80	90	105	115

* En territorio extrapeninsular el valor límite se multiplica por un factor de 1,15.



Uso terciario

La **Figura 10** representa los valores de consumo total de energía primaria, $C_{ep,tot}$, para los casos seleccionados de edificios nuevos de uso terciario, en función de la zona climática y la nivel de carga interna (C_{FI})⁶. Se representa con un punto negro el percentil del 100 % de cada edificio base (misma geometría) y con una línea azul la regresión lineal de estos puntos teniendo en cuenta las componentes principales: los grados-día de invierno (HDD_{18}) y el nivel de carga interna (C_{FI}).



Del mismo modo, la **Figura 11** representa los valores de consumo total de energía primaria, $C_{ep,tot}$, el percentil del 100 % y la recta de regresión, para los casos seleccionados de edificios existentes.

⁶Los casos se han representado con perturbaciones aleatorias en el eje de compacidad para evidenciar las zonas de solape.



$C_{I,m}$ vs EP_{tot} (TERCIARIO_EXISTENTE, banda de óptimos, R^2 : 0.63)

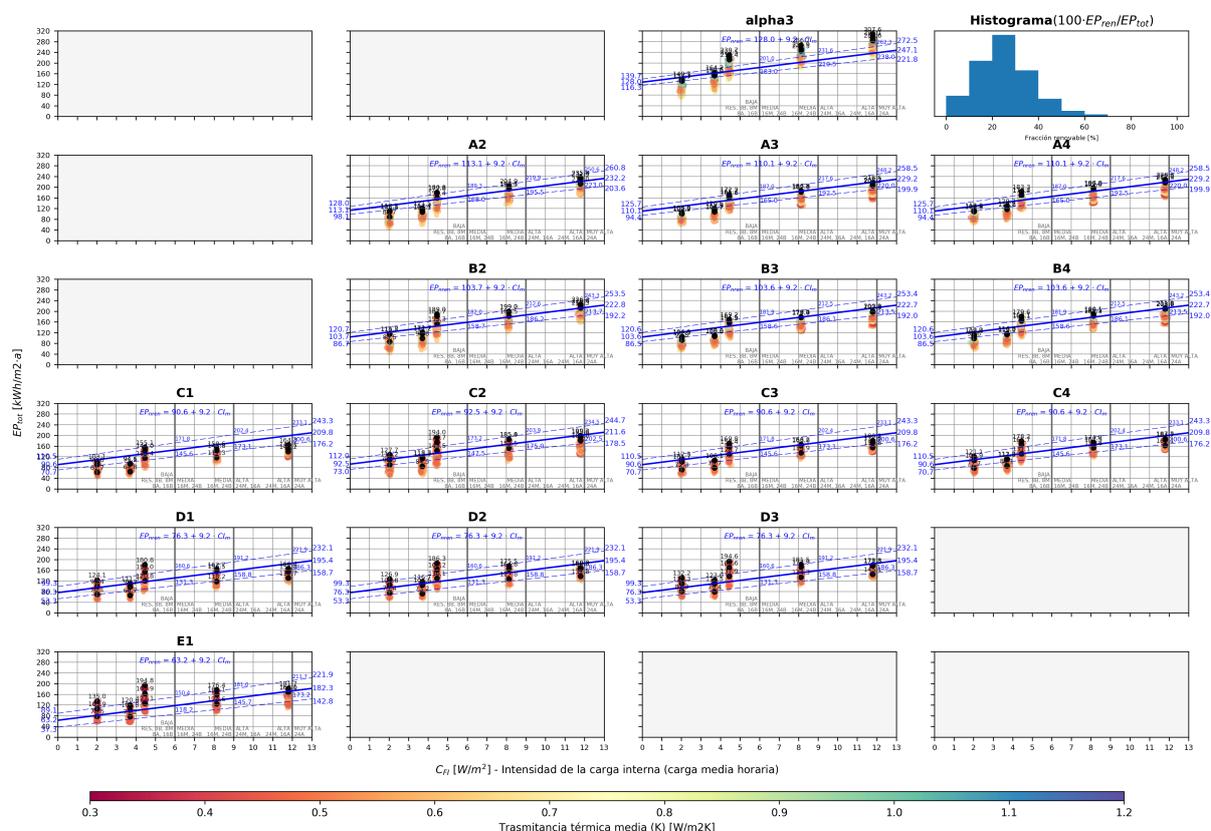


Figura 11: Energía primaria total-Terciario-Existentes

La siguiente tabla muestra los valores de ajuste para los niveles de carga interna baja ($< 6W/m^2$), media ($6 - 9W/m^2$) y alta y muy alta ($> 9W/m^2$). Tanto para edificios nuevos como para edificios existentes se ha adoptado el valor superior de la banda de confianza (línea superior azul discontinua):

Valor límite del *consumo total de energía primaria* $C_{ep,tot}$ [$kW \cdot h/m^2 \cdot an$] para uso terciario

Nivel de carga interna (C_{FI}) [W/m^2]	Zona climática de invierno					
	α	A	B	C	D	E
<i>Edificios nuevos y ampliaciones de edificios existentes</i>						
Baja $C_{FI} < 6$	199,4	188,2	181,2	172,8	160,6	150,8
Media $6 \leq C_{FI} < 9$	229,8	218,6	211,6	203,2	191,1	181,3
Alta, muy alta $C_{FI} \geq 9$	260,3	249,1	242,1	233,7	221,5	211,7
<i>Cambios de uso a uso residencial privado y reformas importantes de edificios existentes en las que se renueven las instalaciones de generación térmica</i>						
Baja $C_{FI} < 6$	201	189,3	182	173,2	160,4	150,4
Media $6 \leq C_{FI} < 9$	231,6	219,9	212,6	203,9	191,2	181
Alta, muy alta $C_{FI} \geq 9$	262,3	250,6	243,3	234,5	221,9	211,7

* En territorio extrapeninsular el valor límite se multiplica por un factor de 1,25.



La propuesta de la [Tabla 4](#) redondea los valores al entero múltiplo de cinco superior e iguala los límites para edificios existentes a los de edificios nuevos, por su proximidad.

Tabla 4: Valor límite del *consumo total de energía primaria* $C_{ep,tot}$ [$kW \cdot h/m^2 \cdot an$] para uso terciario

Nivel de carga interna (C_{FI}) [W/m^2]	Zona climática de invierno					
	α	A	B	C	D	E
<i>Baja</i> $C_{FI} < 6$	200	190	185	175	165	155
<i>Media</i> $6 \leq C_{FI} < 9$	230	220	215	205	195	185
<i>Alta, muy alta</i> $C_{FI} \geq 9$	265	250	245	235	225	215

* En territorio extrapeninsular el valor límite se multiplica por un factor de 1,25.

3.4. Calidad de la envolvente (K)

Uso residencial privado

La [Figura 12](#) representa los valores del coeficiente global de transmisión de calor (K) para los casos seleccionados de edificios nuevos de uso residencial privado, en función de la zona climática y la compacidad del edificio⁷. Se representa con un punto negro el valor máximo de K para cada edificio base (misma geometría) y con una línea azul la regresión lineal de estos puntos teniendo en cuenta las componentes principales: los grados-día de invierno (HDD_{18}) y la compacidad (V/A).

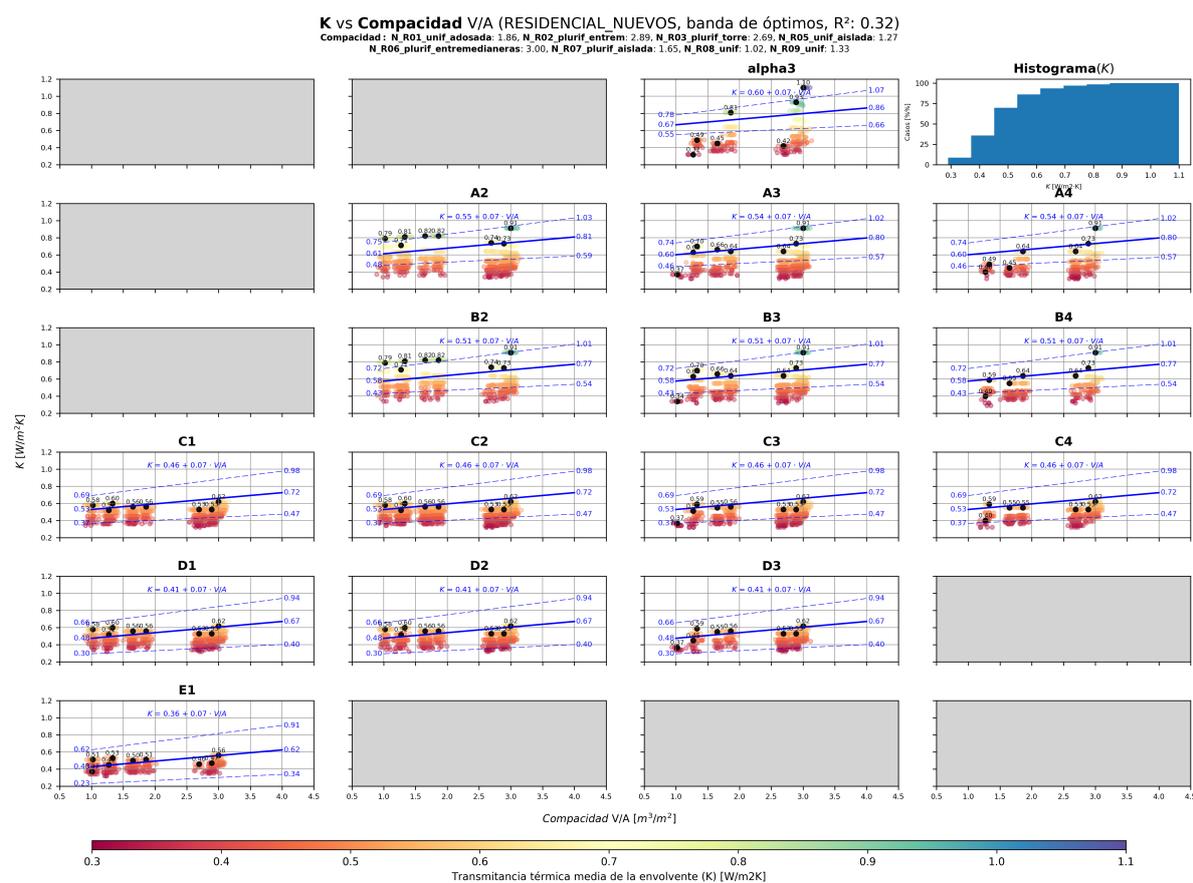


Figura 12: Coeficiente global de transmisión de calor [K]-Residencial-Nuevos

Del mismo modo, la [Figura 13](#) representa los valores del coeficiente global de transmisión de calor (K), el percentil del 100% y la recta de regresión, para los casos seleccionados de edificios existentes de uso residencial.

⁷Los casos se han representado con perturbaciones aleatorias en el eje de compacidad para evidenciar las zonas de solape.

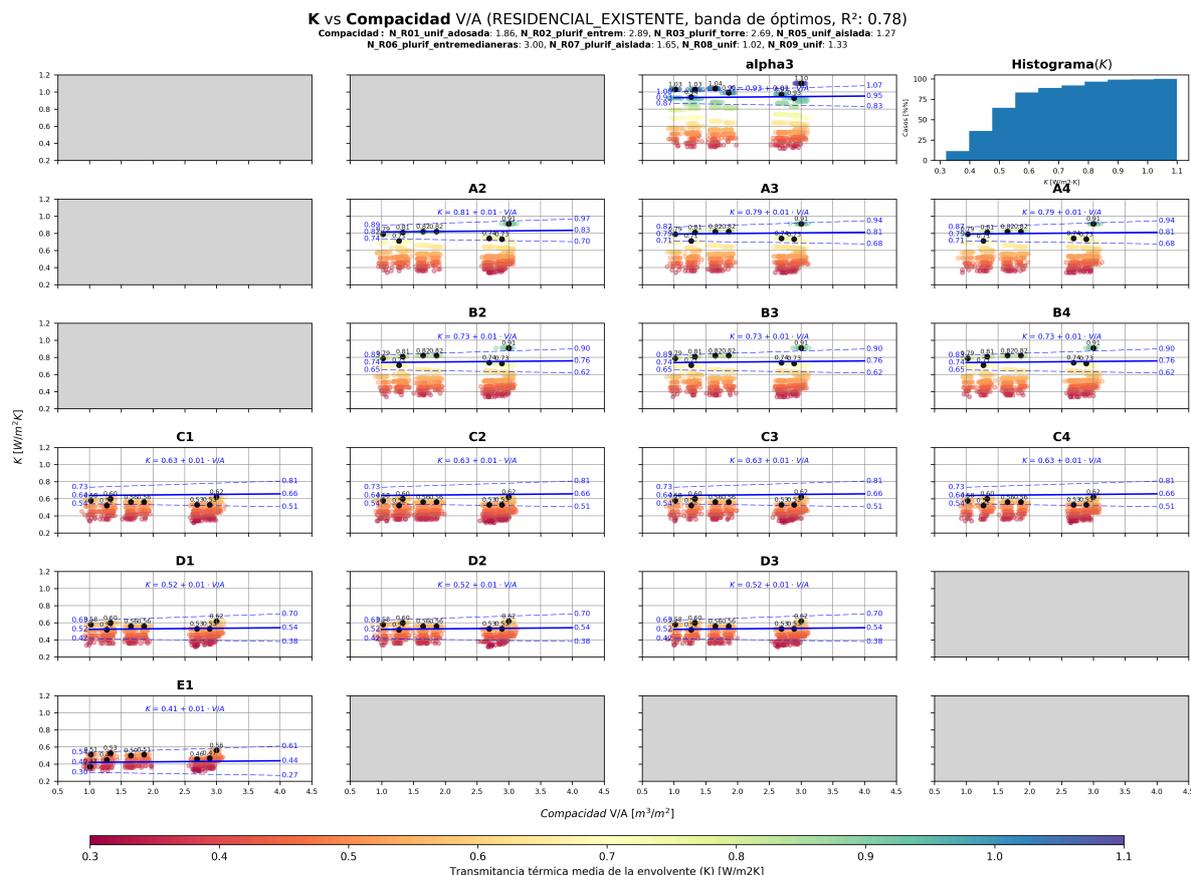


Figura 13: Coeficiente global de trasmisión de calor [K]-Residencial-existent

La [Tabla 5](#) muestra los valores de ajuste para el intervalo de compacidades de 1,0 a 4,0 m^3/m^2 . Tanto para edificios nuevos como para edificios existentes se ha utilizado el valor superior de la banda de confianza (línea superior azul discontinua):

Tabla 5: Valor límite del *coeficiente global de trasmisión de calor* K [$W/m^2 \cdot K$] para uso residencial privado

Compacidad (V/A) [m^3/m^2]	Zona climática de invierno					
	α	A	B	C	D	E
<i>Edificios nuevos y ampliaciones de edificios existentes</i>						
$V/A \leq 1$	0,67	0,60	0,58	0,53	0,48	0,43
$V/A \geq 4$	0,86	0,80	0,77	0,72	0,67	0,62
<i>Cambios de uso a uso residencial privado y reformas importantes de edificios existentes en las que se renueven las instalaciones de generación térmica</i>						
$V/A \leq 1$	1,00	0,87	0,83	0,73	0,63	0,54
$V/A \geq 4$	1,07	0,94	0,90	0,81	0,70	0,61

* Los valores límite de compacidades intermedias se obtienen por interpolación.



Uso terciario

La **Figura 14** representa los valores del coeficiente global de trasmisión de calor (K) para los casos seleccionados de edificios nuevos de uso terciario, en función de la zona climática y la capacidad del edificio⁸. Se representa con un punto negro el valor máximo para cada edificio base (misma geometría) y con una línea azul la regresión lineal de estos puntos teniendo en cuenta las componentes principales: los grados-día de invierno (HDD_{18}) y la capacidad (V/A).

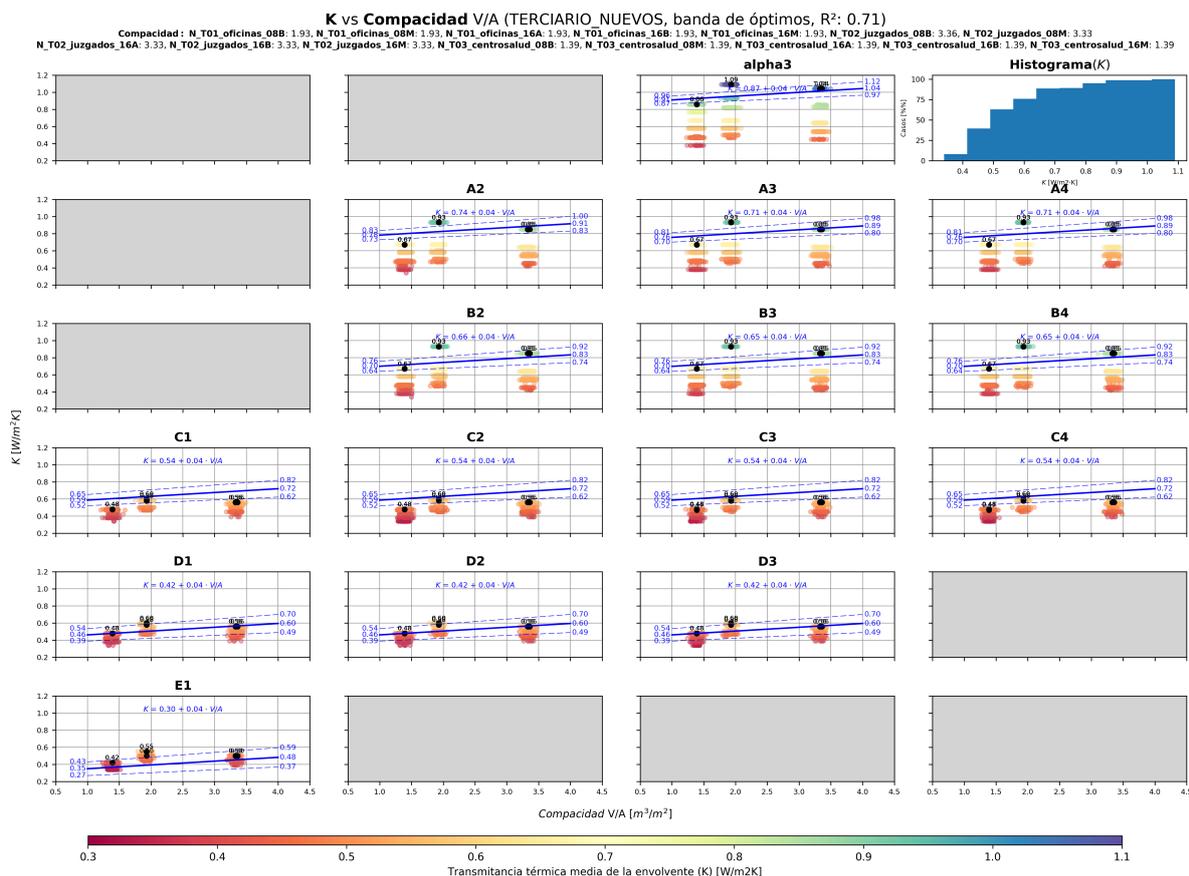


Figura 14: Coeficiente global de trasmisión de calor [K]-Terciario-Nuevos

Del mismo modo, la **Figura 15** representa los valores del coeficiente global de trasmisión de calor (K), el percentil del 100 % y la recta de regresión, para los casos seleccionados de edificios existentes de uso terciario.

⁸Los casos se han representado con perturbaciones aleatorias en el eje de compacidad para evidenciar las zonas de solape.

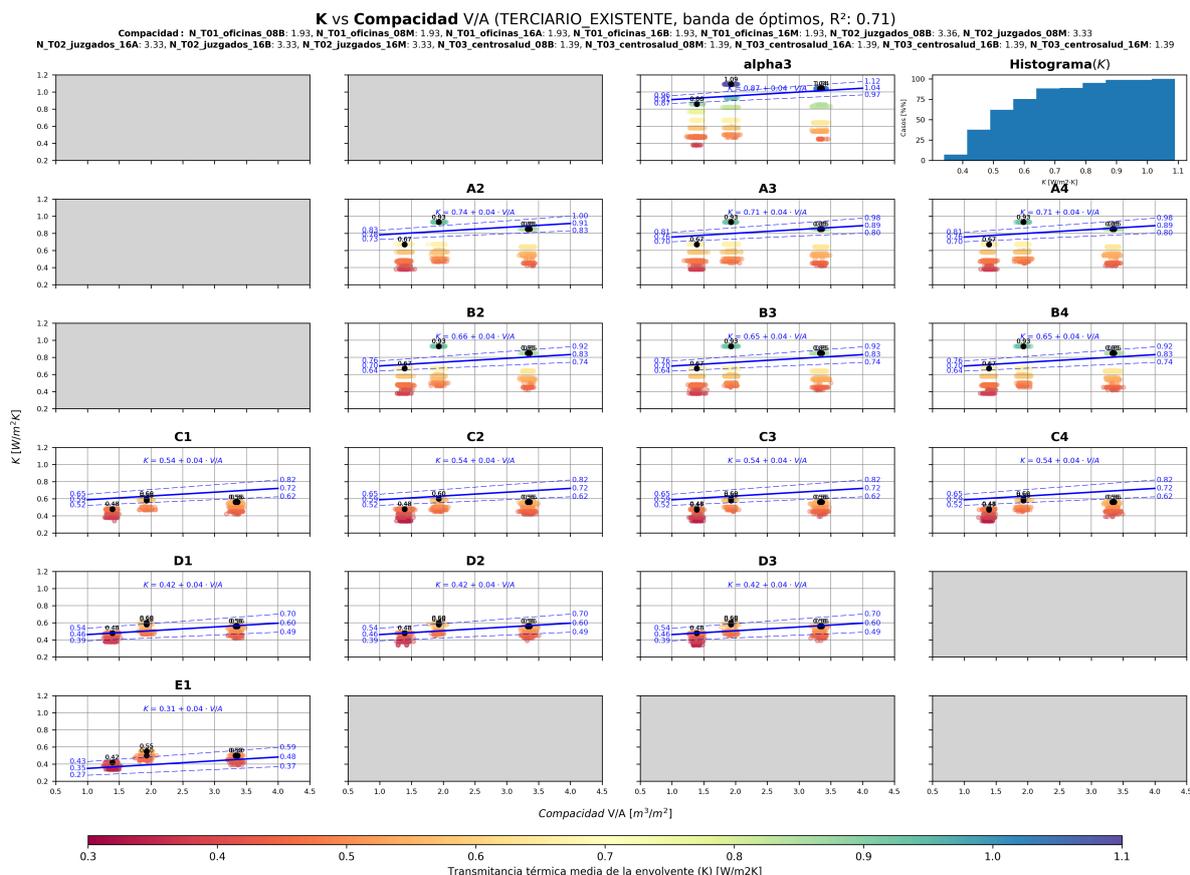


Figura 15: Coeficiente global de trasmisión de calor [K]-Terciario-Existente

La siguiente tabla muestra los valores de ajuste para el intervalo de compacidades de 1,0 a 4,0 m^3/m^2 . Tanto para edificios nuevos como para existentes se ha utilizado el valor superior de la banda de confianza (línea superior azul discontinua):

Valor límite del *coeficiente global de trasmisión de calor* K [$W/m^2 \cdot K$] para uso terciario

Compacidad (V/A) [m^3/m^2]	Zona climática de invierno					
	α	A	B	C	D	E
<i>Edificios nuevos y ampliaciones de edificios existentes</i>						
$V/A \leq 1$	0,96	0,81	0,76	0,65	0,54	0,43
$V/A \geq 4$	1,12	0,98	0,92	0,82	0,70	0,59
<i>Cambios de uso a uso residencial privado y reformas importantes de edificios existentes en las que se renuevan las instalaciones de generación térmica</i>						
$V/A \leq 1$	0,96	0,81	0,76	0,65	0,54	0,43
$V/A \geq 4$	1,12	0,98	0,92	0,82	0,70	0,59

* Los valores límite de compacidades intermedias se obtienen por interpolación.

3.5. Control solar ($q_{sol;jul}$)

Las figuras 16, 17, 18 y 19 representan los valores del coeficiente global de trasmisión de calor (K) para los casos seleccionados de edificios de uso residencial nuevos y existentes y de uso terciario nuevos y existentes, respectivamente, en función de la zona climática y la compacidad del edificio⁹. Se representa con un punto negro el percentil del 75 % de cada edificio base (misma geometría) y con una línea azul la regresión lineal de estos puntos teniendo en cuenta los grados-día de invierno (HDD_{18}) y la compacidad (V/A).

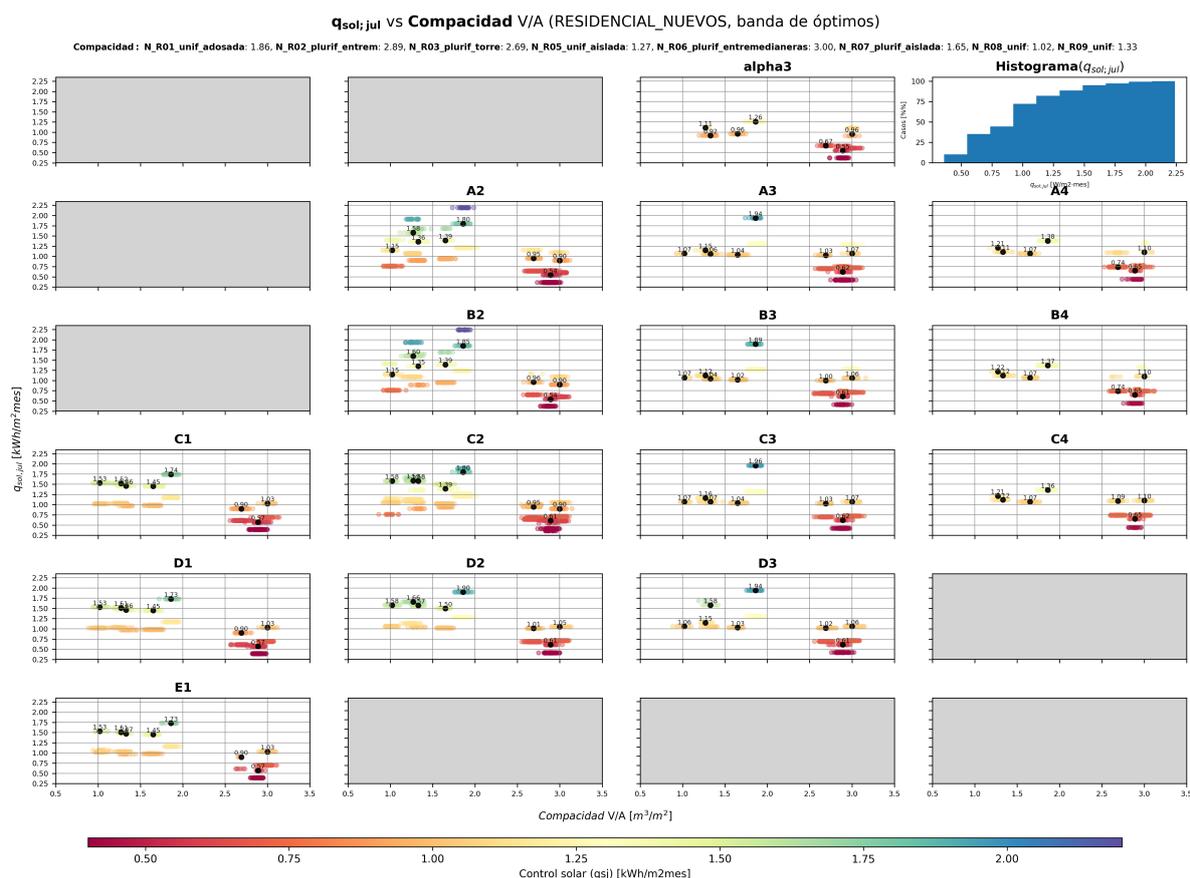


Figura 16: Parámetro de control solar, $q_{sol;jul}$, para edificios nuevos de uso residencial

⁹Los casos se han representado con perturbaciones aleatorias en el eje de compacidad para evidenciar las zonas de solape.

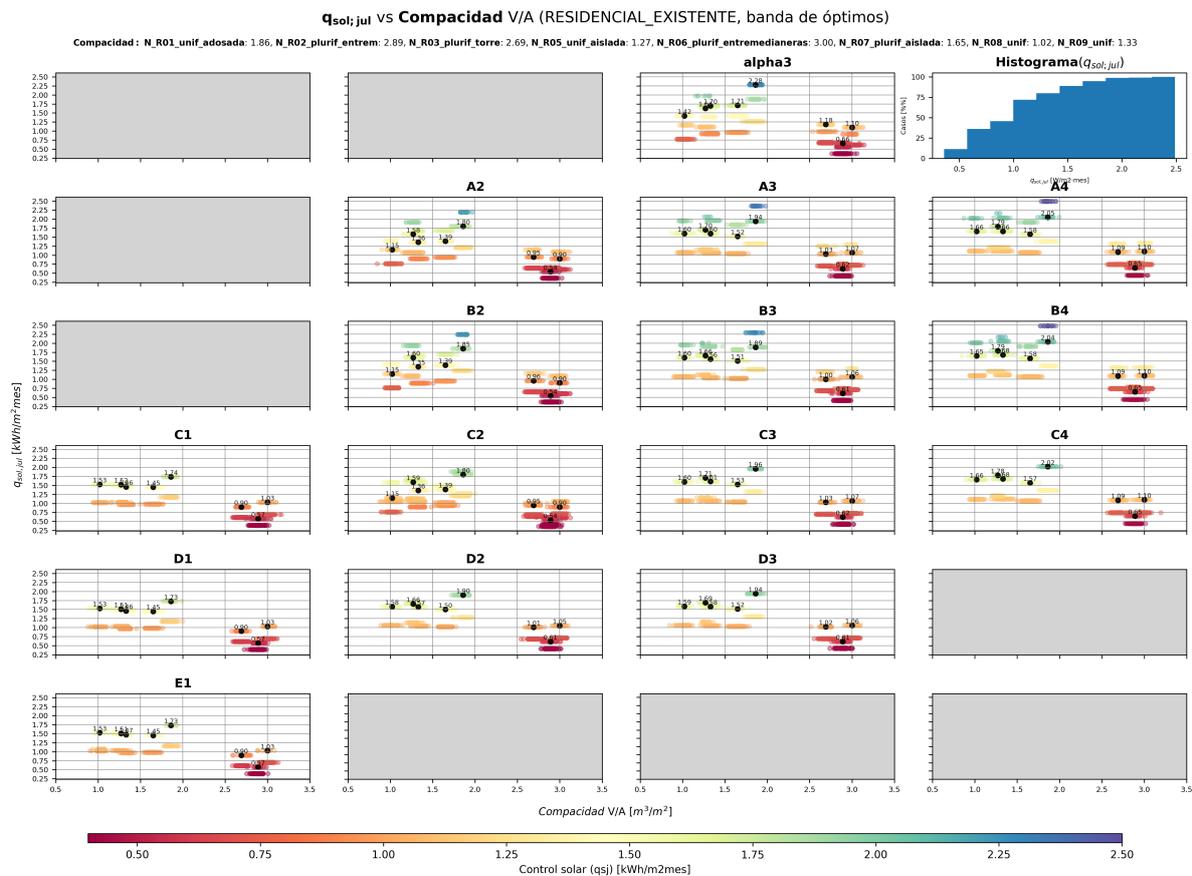


Figura 17: Parámetro de control solar, $q_{sol};jul$, para edificios existentes de uso residencial



$q_{sol};jul$ vs Compacidad V/A (TERCIARIO_NUEVOS, banda de óptimos)

6A: 1.93, N_T01_oficinas_16B: 1.93, N_T01_oficinas_16M: 1.93, N_T02_juzgados_08B: 3.36, N_T02_juzgados_08M: 3.33, N_T02_juzgados_16A: 3.33, N_T02_juzgados_16B: 3.33, N_T02_juzgados_16M: 3.33, N_T03_centrosalud_08B: 1.39, N_T03_centrosalud_08M: 1.39, N_T03_centrosalud_16A: 1.39, N_T03_centrosalud_16B: 1.39, N_T03_centrosalud_16M: 1.39

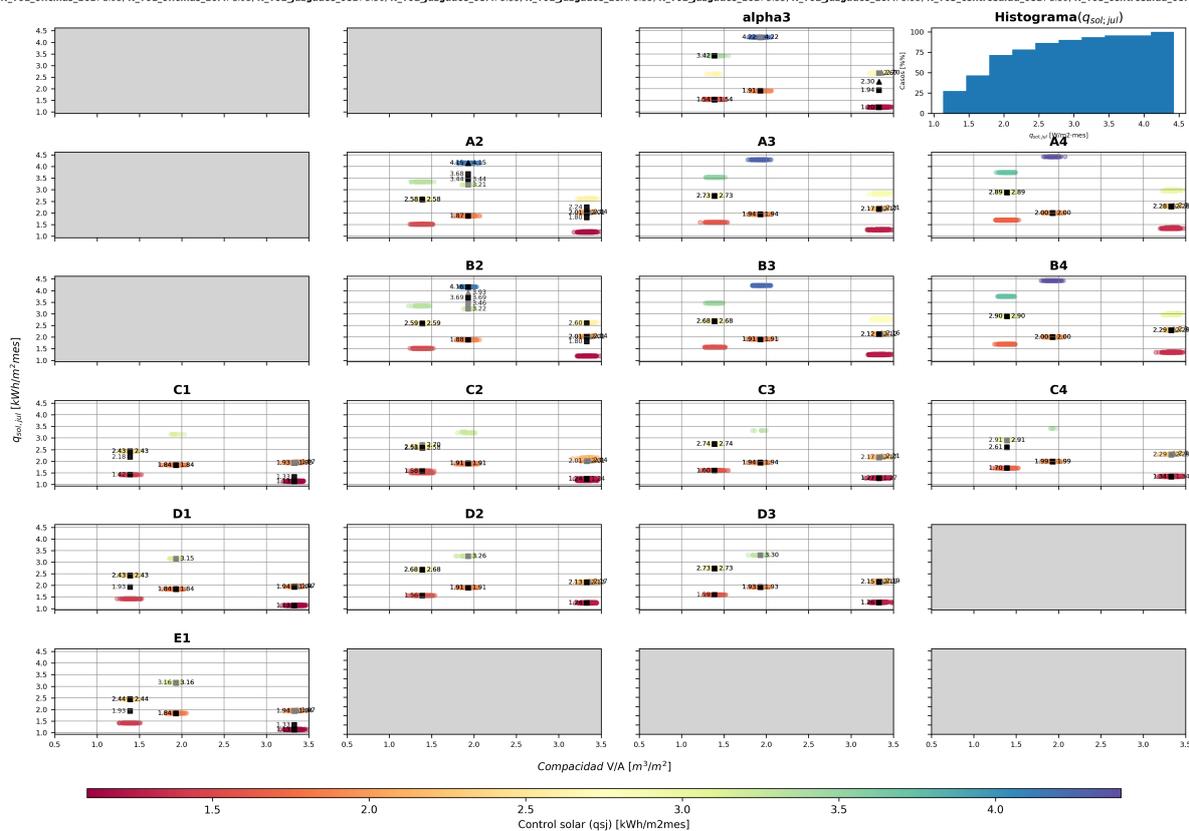


Figura 18: Parámetro de control solar, $q_{sol};jul$, para edificios nuevos de uso terciario



$q_{sol};jul$ vs Compacidad V/A (TERCIARIO_EXISTENTE, banda de óptimos)

6A: 1.93, N_T01_oficinas_16B: 1.93, N_T01_oficinas_16M: 1.93, N_T02_juzgados_08B: 3.36, N_T02_juzgados_08M: 3.33, N_T02_juzgados_16A: 3.33, N_T02_juzgados_16B: 3.33, N_T02_juzgados_16M: 3.33, N_T03_centrosalud_08B: 1.39, N_T03_centrosalud_08M: 1.39, N_T03_centrosalud_16A: 1.39, N_T03_centrosalud_16B: 1.39, N_T03_centrosalud_16M: 1.39

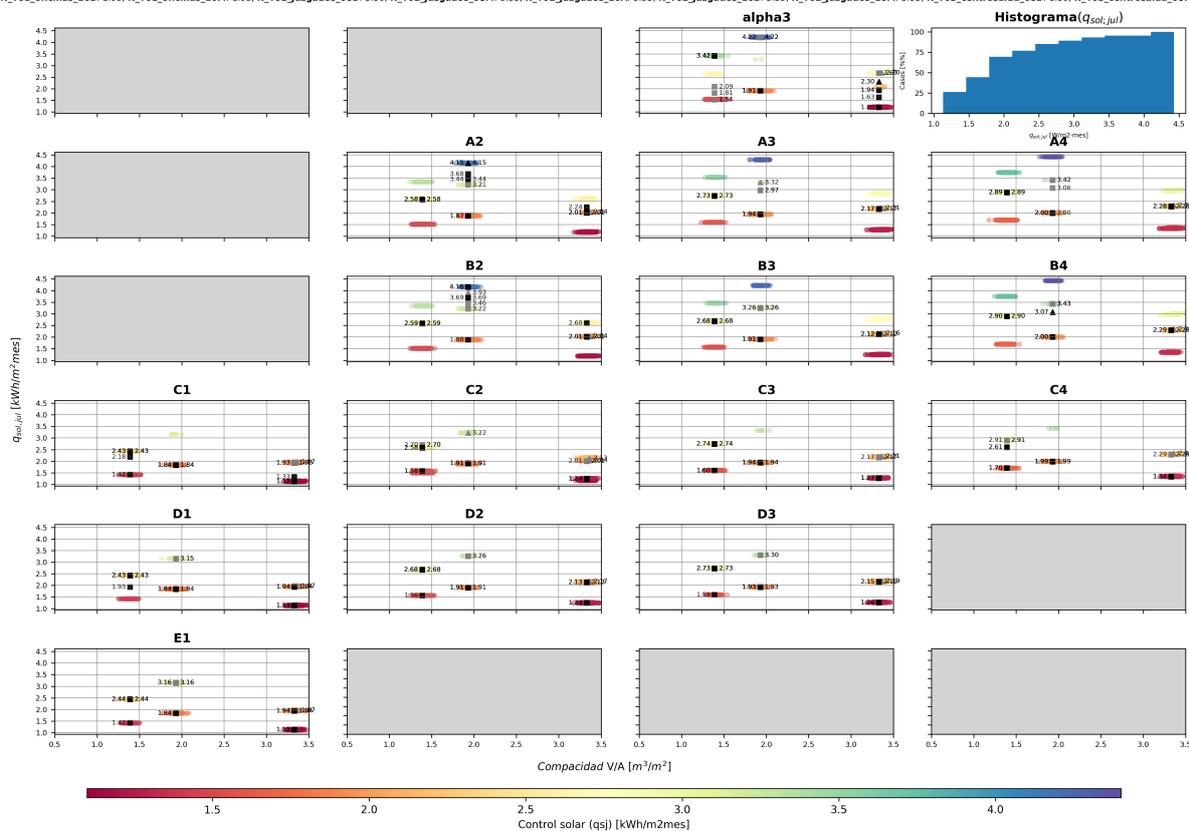


Figura 19: Parámetro de control solar, $q_{sol};jul$, para edificios existentes de uso terciario

Para la limitación del parámetro de control solar se propone en la [Tabla 6](#) un único límite por uso:

Tabla 6: Valor límite del *parámetro de control solar* $q_{sol};jul$ [$kWh/m^2 \cdot mes$]

Uso	$q_{sol};jul,lim$
Uso residencial privado	2,00
Uso terciario	4,00



4. Observaciones metodológicas

Tras el análisis de los resultados es necesario hacer algunas observaciones:

4.1. Construcción de variantes de la envolvente

Las medidas de envolvente que se han aplicado a los edificios base se han construido partiendo de una solución base sin aislamiento e incrementando el nivel de aislamiento en cantidades constantes (2cm en los tramos más bajos y 4cm en los superiores) y mejorando el tipo de acristalamiento (vidrio sencillo ->vidrio aislante ->vidrio bajoemisor ->vidrio bajoemisor con control solar).

Esta secuencia, que progresa en calidad de la envolvente no responde del todo bien a los climas suaves, en los que el control solar no se correlaciona de forma directa con la reducción de la transmitancia, de modo que, en esos casos, sería preferible usar acristalamientos con control solar en soluciones con bajo nivel de aislamiento.

4.2. Parámetro de control solar

Este es un indicador nuevo y el valor límite obtenido tiene las limitaciones derivadas del acoplamiento del factor solar y la transmitancia térmica en la secuencia de soluciones constructivas estudiadas, de modo que se propone un valor único que refleja el límite absoluto observado, pero que puede ser poco restrictivo.

Por otro lado, el efecto esperado de la introducción de este indicador es resaltar la importancia del control solar y el diseño de las protecciones solares, más que condicionar de forma excesiva las soluciones viables del edificio.

Otro aspecto que puede resultar llamativo es que no se diferencia el límite según la zona climática de verano, pero debe tenerse en cuenta que la radiación incidente depende de ese parámetro, de modo que un mismo valor de control solar resulta más restrictivo en climas con mayor severidad climática de verano (mayor radiación).

El periodo de cálculo usado para el indicador obedece al deseo de evitar un exceso de complejidad en el cálculo, tanto de la radiación como de los factores de sombra, entendiéndose que la ampliación a más meses o la realización de cálculos horarios hacen más complejo el cálculo sin añadir necesariamente una mayor información al parámetro.

4.3. Aportación de energía renovable para ACS

Aunque no se ha representado el nivel de aportación renovable, en el diseño de los casos de estudio se ha asegurado un nivel de generación de ACS con paneles solares térmicos superior al 50 %, tanto en edificios residenciales como terciarios.

4.4. Valores de consumo en edificios residenciales de muy baja compactidad

Los edificios de uso residencial privado de baja compactidad (alrededor de 1.0) son muy sensibles a las condiciones exteriores (clima). Sin embargo, el estudio se ha realizado sin ajustar el diseño de los edificios a dichas condiciones, actuando solo parcialmente en el factor solar de los huecos.

Se ha comprobado que esos casos alcanzan valores medios con medidas de diseño simples como el ajuste de los elementos de sombra y la orientación o fracción de la superficie acristalada, para adaptar las ganancias solares a las condiciones climáticas específicas.

Se optó por no eliminar estos casos al realizar el ajuste de los valores normativos, para dotar de un cierto margen a los casos en los que no pudiese ser viable un cambio de diseño (especialmente en el caso de rehabilitación, y en cascos urbanos muy determinados por las condiciones urbanísticas).

4.5. Niveles de consumo en climas extrapeninsulares

Como resultado de los distintos factores de conversión en zonas peninsulares y extrapeninsulares (Islas Baleares, Islas Canarias y Ceuta y Melilla), los valores límite definidos para las zonas peninsulares se afectan por un factor que toma en consideración dicho efecto.

Este factor se ha obtenido a partir de la relación entre los factores de conversión de energía final a energía primaria suponiendo un mix fijo. El mix empleado diferencia entre uso residencial y no residencial y se ha tomado del proyecto *ENTRANZE* (ver [Figura 20](#) y [Figura 21](#)), resultando en la composición del consumo de vectores energéticos para los usos *EPB* reflejado en la [Tabla 7](#).

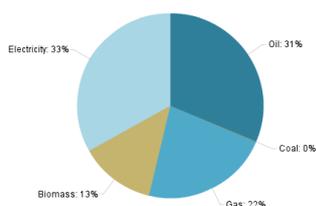
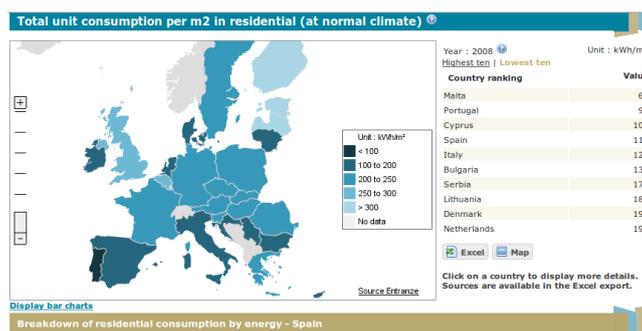


Figura 20: Consumo y mix típico para uso residencial (proyecto ENTRANZE)

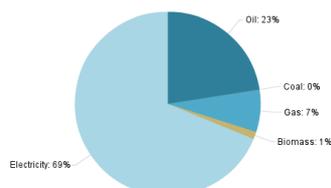
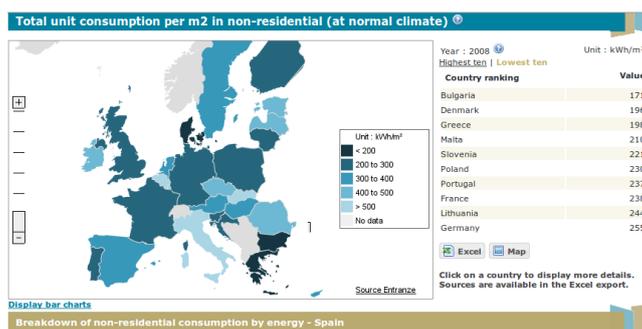


Figura 21: Consumo y mix típico para uso no residencial (proyecto ENTRANZE)



Tabla 7: Composición del mix tipo según proyecto *ENTRANZE*

Uso / Vector	Biomasa	Gasóleo	Electricidad	Gas
Uso residencial	13 %	31 %	33 %	22 %
Uso no residencial	1 %	23 %	69 %	7 %

Para dicho mix se obtienen los siguientes factores medios:

Factores de ampliación debidos al mix, para zonas extrapeninsulares

Uso / indicador	peninsular	Baleares	Canarias	Ceuta y Melilla
Residencial, EP _{nren}	1.276	1.610	1.596	1.528
% s/peninsular	100 %	126 %	125 %	120 %
Residencial, EP _{tot}	1.545	1.771	1.752	1.685
% s/peninsular	100 %	115 %	113 %	109 %
No Residencial, EP _{nren}	1.702	2.402	2.372	2.229
% s/peninsular	100 %	141 %	139 %	131 %
No Residencial, EP _{tot}	1.920	2.391	2.352	2.211
% s/peninsular	100 %	125 %	123 %	115 %

A la vista de los resultados se proponen los siguientes factores de ampliación de los valores límite:

Factores de ampliación propuestos para zonas extrapeninsulares

Uso / indicador	EP_{nren}	EP_{tot}
Residencial	1.25	1.15
No residencial	1.40	1.25



5. Relación con los niveles de los indicadores existentes en el DB-HE2013

5.1. Consumo de energía primaria no renovable en uso residencial privado

Este indicador puede compararse de forma directa para el caso de edificios nuevos o ampliaciones de uso residencial privado, teniendo en cuenta que el nuevo indicador incluye el consumo de ventilación, antes no incluido.

La tabla siguiente muestra bajo el valor propuesto el porcentaje global de variación respecto al valor límite definido en el DB-HE 2013. Los valores de 2013 se han tomado directamente sin la corrección por el factor de superficie:

Valor límite del *consumo de energía primaria no renovable* $C_{ep,nren}$ [$kW \cdot h/m^2 \cdot an$] para uso residencial privado

	Zona climática de invierno					
	α	A	B	C	D	E
<i>Edificios nuevos y ampliaciones de edificios existentes</i>	20	25	28	32	38	43
	-43 %	-29 %	-20 %	-29 %	-31 %	-34 %

5.2. Demanda energética

Aunque la exigencia en términos de demanda haya desaparecido, las variantes seleccionadas para obtener los valores límite cumplen la limitación del DB-HE2013 relativa a la demanda energética aplicable a edificios nuevos y existentes de uso residencial privado.

En el caso de edificios de uso terciario no se ha implementado la restricción de demanda conjunta para edificios nuevos. Sin embargo, debe observarse que los edificios analizados emplean envolventes con valores de U más exigentes que los del edificio de referencia, con puentes térmicos con una transmitancia alrededor de un 10 % de la de referencia, un VEEI entorno al 30 % del de referencia, etc, de modo que dicha condición de demanda creemos que se cumple sobradamente. Esto puede tener impacto en la exigencia a los edificios existentes, que se incrementa notablemente en relación a los valores actuales.

5.3. Transmitancia térmica

Los valores propuestos para edificios nuevos y ampliaciones de uso residencial privado resultan de ajustar la K máxima de cada tipo geométrico y clima en la región de interés. Estos casos cumplen al menos las condiciones fijadas en el DB-HE2013 (observándose algún pequeño incremento en algunos casos).

5.4. Uso de energía renovable

Las variantes analizadas tienen una cobertura solar de la demanda de ACS superior al 50 %, con variantes con una cobertura superior al 70 %.

Igualmente, la producción de energía fotovoltaica se ha dimensionado de modo que no se produzca exportación de electricidad y, adicionalmente, una medida con el 50 % de dicha superficie.

En las gráficas de consumo total de energía primaria se muestra un histograma con la fracción renovable para los casos seleccionados.

6. Valores de consumo de energía en edificios de uso no residencial

A continuación se muestran los valores de consumo de energía alcanzables o representativos del parque, evaluadas desde otras fuentes (TOBEEM, ENTRANZE, Certificación energética).

6.1. Proyecto ENTRANZE

Este proyecto evalúa el consumo de energía final de los edificios y la composición del consumo por vectores energéticos.

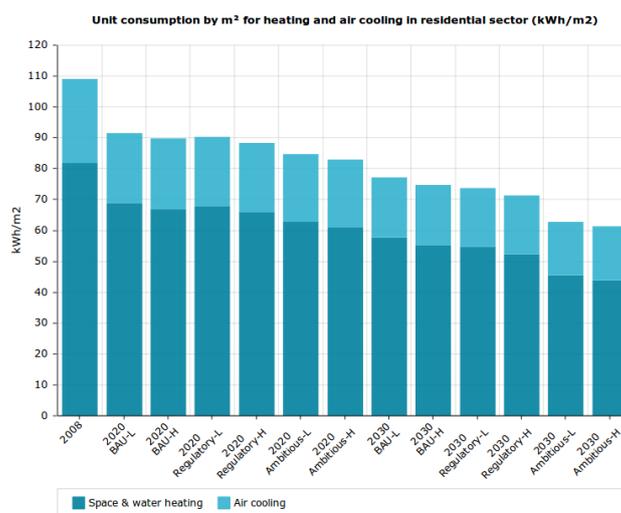


Figura 22: Consumo tipo y niveles alcanzables para uso residencial (proyecto ENTRANZE)

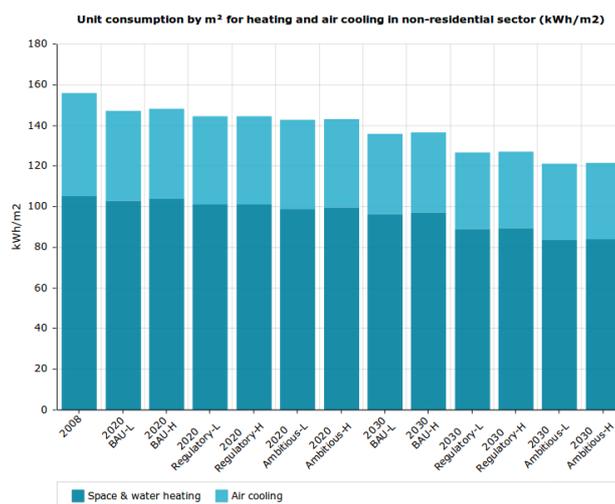


Figura 23: Consumo tipo y niveles alcanzables para uso no residencial (proyecto ENTRANZE)

Así, para el escenario *2030 Ambitious-H*, y suponiendo factores medios de conversión de energía final a energía primaria no renovable y total, los valores obtenidos para uso residencial y no residencial son:



Tabla 8: Niveles de consumo [$kWh/m^2 an$] del proyecto *ENTRANZE* para el escenario *2030 Ambitious-H*

Uso	E_f	EP_{nren}	EP_{total}
Uso residencial	60	77	93
Uso no residencial	120	204	230

Los valores anteriores son equiparables a los propuestos en este documento.

6.2. Proyecto TOBEEM

El proyecto TOBEEM, analiza un conjunto de 6 edificios de oficinas (carga interna baja) situados en Madrid y analiza sus posibilidades de mejora de la eficiencia energética para alcanzar niveles de coste óptimo. Las medidas de mejora se evalúan por simulación a partir de modelos calibrados con datos reales de consumo.

La siguiente tabla recoge los valores resultantes del frente de Pareto para el consumo de energía primaria (total) y coste en condiciones normativas, en uso real, y los valores del óptimo.

aumentan un 16 % (en el caso real), y disminuyen un 32 % (caso optimizado) en relación a las condiciones normativas. Además, y sobre todo para el caso real, la amplitud (variación entre el valor mínimo y máximo) en consumos de energía para el caso real, crece considerablemente (sobre un 25%), respecto a los escenarios en condiciones CTE.

Tabla 2. Comparativa de escenarios que conforman las curvas de Pareto en análisis financiero en condiciones normativas, reales y optimizadas.

consumo energía primaria (kWh/m^2 año)			costes globales ($€/m^2$)		
Normativa	Real	Optimizado	Normativa	Real	Optimizado
99,4	110,6	60,1	1.224	1.178	1.105
99,8	110,6	60,1	1.224	1.178	1.105
101,9	110,6	60,1	1.179	1.178	1.105
103,6	110,6	60,1	1.149	1.178	1.105
104,0	120,8	65,3	1.130	1.154	1.074
104,3	123,1	69,5	1.133	1.157	1.079
113,3	123,1	69,9	1.142	1.157	1.088
113,3	132,6	77,1	1.142	1.169	1.089
139,5	164,2	106,2	1.172	1.191	1.107
140,1	167,4	106,6	1.185	1.211	1.124
153,3	177,2	119,8	1.201	1.236	1.152
153,9	179,6	120,3	1.226	1.263	1.177
153,9	179,6	120,3	1.226	1.263	1.177
153,9	179,6	120,3	1.258	1.295	1.209

Igualmente, resulta relevante ver las distribuciones de consumos de energía por usos en las regiones de interés, para estas condiciones reales y optimizadas;

Figura 24: Niveles de consumo total para una muestra de edificios de oficinas (proyecto TOBEEM)

El informe concluye, de forma general, lo siguiente:

**EDIFICIOS DE
OFICINAS DE
CONSUMOS
REDUCIDOS Y COSTE
GLOBAL INFERIOR**

Es perfectamente viable construir edificios de oficinas de consumos energéticos reducidos a unos costes globales significativamente inferiores de las actuaciones de mercado de los últimos años, bajo las condiciones actuales, según capacidades del sector, conocimientos técnicos y tecnología disponible en mercado. Esto es, considerando que los edificios de oficinas construidos en los últimos años tienen consumos asociados superiores a los 150kWh/m² año, se pueden reducir los mismos a un orden de 60kWh/m² año, en construcciones con un rango de costes entre los 1.100 y 1.200€/m². Estos valores pueden verse reducidos en el diseño en detalle edificio a edificio, tanto de soluciones arquitectónicas y constructivas, como de sistemas eficientes y renovables adaptados a edificio.



**CONSTRUIR
EDIFICIOS EFICIENTES
ES MÁS
ECONÓMICO**

Construir edificios de oficinas energéticamente eficientes a costes óptimos resulta más económico, considerando tanto los costes globales de todo el ciclo de vida, como los costes de inversión. Efectivamente, pasar de un edificio gran consumidor, a otro en una horquilla de entre 50 a 100kWh/m² año, resulta en un ahorro económico de más del 4% de la inversión inicial, sin entrar a considerar los ahorros en factura energética u otros conceptos del ciclo de vida.

Figura 25: Niveles de consumo para edificios de oficinas de consumo casi nulo en Madrid (proyecto TOBEEEM)

Estos valores y conclusiones, teniendo en cuenta la muy baja carga interna de la tipología analizada y que, a diferencia del indicador de energía total de este informe, es dudoso que el valor de energía primaria alcanzado recoja la aportación renovable de las bombas de calor (y posiblemente la de otras producciones renovables), no parecen muy alejados de los obtenidos a partir de la metodología expuesta en este informe (125kWh/m²an para zona D y baja carga interna).

6.3. Muestreo de certificaciones energéticas

A continuación se muestra en una tabla el consumo de energía primaria total (o no renovable), el consumo de energía primaria total del edificio de referencia y la calificación obtenida para este indicador de una serie de edificios certificados por miembros de la Unidad de Calidad en la Construcción del *Instituto Eduardo Torroja de Ciencias de la Construcción (IETcc-CSIC)*.

Tabla 9: Consumo de energía primaria total [kWh/m²an] y calificación de algunos casos de uso terciario

Caso	Calif.	EP _{total}	EP _{nren}	EP _{tot,ref,C} - EP _{tot,ref,B-C}
Dirección Gral. Arq. Viv. y Suelo (D3)	C	283	-	283
Centro de Física y Materiales CSIC (C1)	D	471	-	-
Instituto de Inv. CC. Alimentación CSIC (D3)	C	274	-	300
Residencia de Estudiantes (edif.trasatlántico) CSIC (D3)	C	250	-	-
Residencia de Estudiantes (edif.central+gemelos) CSIC (D3)	D	-	419	363
Servicio de publicaciones del CSIC (D3)	E	90	-	-
Guardería CSIC (D3)	D	-	351	210
Oficinas CSIC (D3)	C	-	219	190

Estos valores, que es necesario tener en cuenta que no incluyen la aportación renovable de las bombas de calor, muestran que los valores propuestos son claramente inferiores a los valores normales de la muestra realizada e incluso a los que corresponderían a la calificación B en el indicador de energía primaria total.



7. Revisión de los valores de limitación de descompensaciones en edificios de uso residencial privado.

Se ha procedido a revisar los valores establecidos en las tablas del DB-HE 2013 en cuanto a la limitación de descompensaciones en edificios de uso residencial privado, tanto cuando delimitan unidades de distinto uso o zonas comunes como para unidades del mismo uso.

Partiendo del documento que se presentó al Ministerio de Fomento (MFOM) en el año 2013 con el nombre "Transmisión interna de calor: Análisis y propuesta para su limitación en el CTE" se ha revisado la base teórica y metodológica desarrollada en él para una mayor racionalización del problema que permita una aproximación intuitiva.

La metodología contempla un espacio A , habitable y acondicionado, en contacto con otro, B , también habitable pero no acondicionado a través de una partición con área A_i , evaluándose el flujo de calor que se produce en esa situación e igualándolo al que se produciría si el área A_i estuviera en contacto con el exterior.

Se presuponen dos condiciones en el modelo:

- Las ganancias solares e internas compensan la pérdida por ventilación en el espacio no acondicionado. De esta manera el análisis energético se centra en la transmisión.
- La zona A no es la única que aporta energía al espacio B , sino que hay otra zona que aporta la misma energía.

Con estas aproximaciones la existencia de sobre aislamiento o de robo de calor depende de dos parámetros:

- La relación de tamaño de las áreas de contacto y exterior $a = A_e/A_i$.
- La relación de las transmitancias interior y exterior $u = U_e/U_i$ (tomadas en este caso en base al Apéndice E)

7.1. Zonas del mismo uso

De la actual tabla del DB HE2013 se obtiene tanto los valores de aislamiento que sería necesario añadir a las soluciones convencionales de particiones interiores para que alcancen los niveles de transmitancia establecidos para cada zona climática:

Tabla 10: Relación de aislamiento que implica el valor de transmitancia de la actual tabla DB HE2013

		alpha	A	B	C	D	E
Horizontales	U	1.90	1.80	1.55	1.35	1.20	1.00
	(cm)	-	-	-	0.2	0.4	0.9
Verticales	U	1.40	1.40	1.20	1.20	1.20	1.00
	(cm)	0.2	0.2	0.5	0.5	0.5	1.0

como la siguiente relación de áreas protegida (relación de A_e/A_i):

Tabla 11: Relación de áreas (a) a partir de la cual se produce robo de calor con las tablas del DB HE2013

		alpha	A	B	C	D	E
Horizontales		2.8	2.8	2.8	2.7	2.8	2.9
Verticales		-	4.9	4.2	3.5	3.4	3.7



7.2. Zonas de distinto uso

De la actual tabla del DB HE2013 se obtiene tanto los valores de aislamiento que sería necesario añadir a las soluciones convencionales de particiones interiores para que alcancen los niveles de transmitancia establecidos para cada zona climática:

Tabla 12: Relación de aislamiento que implica el valor de transmitancia de la actual tabla DB HE2013

		alpha	A	B	C	D	E
Horizontales	U	1.35	1.25	1.10	0.95	0.85	0.70
	(cm)	0.2	0.3	0.6	1.0	1.4	2.1
Verticales	U	1.35	1.25	1.10	0.95	0.85	0.70
	(cm)	0.2	0.4	0.7	1.1	1.5	2.2

como la siguiente relación de áreas protegida (relación de A_e/A_i):

Tabla 13: Relación de áreas (a) a partir de la cual se produce robo de calor con las tablas del DB HE2013

	alpha	A	B	C	D	E
Horizontales	3.3	3.5	3.4	3.2	3.3	3.6
Verticales	-	6.0	4.7	4.4	4.7	5.8

7.3. Conclusiones

Los resultados obtenidos para el caso de separación entre zonas del mismo uso y entre zonas de distintos usos es suficientemente homogénea, por lo que no parece necesario alterar los valores existentes.